Física atómica y nuclear

Experimentos introductorios

Experimento de Millikan

Determinación de la carga elemental eléctrica según Millikan y comprobación de la cuantización de la carga - Medición con CASSY

Descripción del CASSY Lab 2

Para descargar ejemplos y ajustes utilice por favor la ayuda del CASSY Lab 2.



Experimento de Millikan

Apropiado también para el Pocket-CASSY.

Descripción del ensayo

En 1910 R.A. Millikan consiguió demostrar la cuantificación de las cantidades más pequeñas de electricidad con su famoso método de la gota de aceite. Observó el movimiento de gotitas de aceite cargadas en un campo eléctrico vertical producido por un condensador de placas con distancia entre placas d y determina a partir del radio r y del campo eléctrico E=U/d la carga q de una gotita en suspensión. Al mismo tiempo verifica que q sólo se presenta como un múltiplo entero de una carga elemental e, esto es: q = n·e.

Teoría

Si una gotita de aceite de radio r_0 desciende (cae) con una velocidad $-v_1$ hacia abajo sobre ella actúa la fricción de Stokes contraria al movimiento $F_1 = 6\pi\cdot\eta\cdot r_0\cdot v_1$ (η = Viscosidad del aire). Si la misma gotita de aceite asciende con una velocidad v_2 en un campo eléctrico E, entonces la fricción de Stokes actúa en sentido contrario $F_2 = -6\pi\cdot\eta\cdot r_0\cdot v_2$. La diferencia entre estas dos fuerzas corresponde exactamente a la fuerza $q_0\cdot E$ debido al campo eléctrico aplicado E, esto es:

$q_0\cdot E = q_0\cdot U/d = F_1-F_2 = 6\pi\cdot\eta\cdot r_0\cdot(v_1+v_2)$ ó

$q_0 = 6\pi\cdot\eta\cdot r_0\cdot d\cdot(v_1+v_2) / U$.

Para determinar la carga q_0 sólo falta conocer el radio r_0 de la gotita observada que puede ser obtenida fácilmente a partir del equilibrio de fuerzas de su peso resultante $F = -V\cdot\Delta\rho\cdot g$ y de la fricción de Stokes F_1 cuando la gotita cae, en donde Δρ es la diferencia de densidades entre aceite y aire.



Se cumple entonces:

$0 = F+F_1 = -4/3\ \pi \cdot r_0^3 \cdot \Delta\rho \cdot g + 6\pi \cdot \eta \cdot r_0 \cdot v_1$ ó

$r_0 = \sqrt{(9\eta v_1 / 2\Delta\rho g)}$.

Para determinar con exactitud la carga q se debe considerar que la fricción de Stokes para radios r muy pequeños debe ser corregida, ya que estos se encuentran en el orden de magnitud del recorrido medio libre de las moléculas de aire. La fórmula para la fricción corregida dependiente de la presión de aire p tiene la siguiente forma:

$F = 6\pi\eta rv / (1+b/rp)$

donde b = 80 µm·hPa (constante).

Si reemplazamos A = b/p el radio corregido r deviene en:

$r = \sqrt{(r_0^2 + A^2/4)} - A/2$

y la carga corregida q es entonces:

$q = q_0 / (1+A/r)^{1,5}$.

Método de la suspensión

En esta variante del experimento la tensión U es ajustada en el condensador de placas de tal forma que la gotita de aceite elegida su velocidad de ascenso sea cero (v_2=0). La velocidad de descenso v_1 se mide luego de desconectar la tensión del condensador U. Con v_2=0 las fórmulas descritas líneas arriba se simplifican en algo.

En realidad no es tan exacto determinar v_2=0 y por esta razón el método de la suspensión arroja errores grandes y la dispersión en la distribución de frecuencias es también grande, mucho más que por el método que se describe a continuación.

Método del descenso y ascenso

En esta segunda variante se mide ambas velocidades v_1 y v_2, así como la tensión U. La ventaja de este método frente al método de suspensión de la gotita de aceite es la determinación más precisa de los valores medidos pues se mide realmente la velocidad v_2.

Equipo requerido

1	Sensor-CASSY	524 010 ó 524 013
1	CASSY Lab 2	524 220
1	Unidad Timer	524 034
1	Aparato de Millikan	559 411
1	Unidad de servicio del aparato de Millikan	559 421
1	Cable de experimentación, 50 cm, rojo	500 421
3	Pares de cables, 50 cm, rojos y azules	501 45
1	Par de cables, 50 cm, negro	501 451
1	PC con Windows XP/Vista/7	

Montaje del ensayo (véase el esquema)

Ensamble el aparato de Millikan según las instrucciones de servicio, llene el aceite y monte el circuito según el esquema. Para ello conecte la salida del cronómetro 1 con la entrada E y la salida del cronómetro 2 con la entrada F de la unidad Timer. Conecte la salida de tensión de la unidad de servicio con la entrada B del Sensor-CASSY.

Atención: El microscopio genera una imagen inversa. Todas las direcciones de movimiento aparecen por ello a la inversa. Sin embargo, a continuación se describe el movimiento real.

Si desea mejorar la demostración de las gotitas de aceite entonces se recomienda grabar la imagen microscópica con una cámara de vídeo (por ejemplo VideoFlex de ken-a-vision). En este caso la cámara puede grabar también "de cabeza", de tal manera que la dirección de movimiento visible corresponda nuevamente a la dirección de movimiento real.

Realización del ensayo

a) Método de la suspensión

- Cargar ajustes
- Coloque el micrómetro ocular en posición vertical y ajuste la nitidez de la imagen girando el anillo negro del ocular.
- Luego ponga los interruptores U y t hacia abajo.

- Encienda el interruptor del condensador con el interruptor U y ajuste una tensión (400 a 600 V) con el potenciómetro giratorio de tal forma que la gotita de aceite seleccionada ascienda 1 ó 2 divisiones de escala por segundo (en el ocular se ve como que cae). Luego reducir la tensión hasta que la gotita de aceite justo quede suspendida.
- Desconecte la tensión del condensador con el interruptor U.
- Tan pronto como la gotita de aceite se encuentre al lado de una marca de la escala seleccionada por usted, inicie la medición del tiempo con el interruptor t.
- Tan pronto como la gotita de aceite haya descendido otras 20 marcas de la escala (corresponde a 1 mm) (en el ocular se ve como que asciende) detenga la medición del tiempo con el interruptor t y conecte nuevamente la tensión del condensador con el interruptor U.
- Transfiera hacia la tabla los valores medidos del tiempo de descenso t_1 y la tensión U con . La carga q calculada ingresará automáticamente al histograma.
- Repita la medición para otras gotitas de aceite.

b) Método del descenso y ascenso

- Cargar ajustes
- Coloque el micrómetro ocular en posición vertical y ajuste la nitidez de la imagen girando el anillo negro del ocular.
- Luego ponga los interruptores U y t hacia abajo.
- Encienda el interruptor del condensador con el interruptor U y ajuste una tensión (400 a 600 V) con el potenciómetro giratorio de tal forma que la gotita de aceite seleccionada ascienda 1 ó 2 divisiones de escala por segundo (en el ocular se ve como que cae).
- Desconecte la tensión del condensador con el interruptor U.
- Tan pronto como la gotita de aceite se encuentre al lado de una marca de la escala seleccionada por usted, inicie la medición del tiempo con el interruptor t.
- Tan pronto como la gotita de aceite haya descendido otras 20 marcas de la escala (corresponde a 1 mm) (en el ocular se ve como que asciende), conecte nuevamente la tensión del condensador con el interruptor U. Esto inicia automáticamente la medición del tiempo t_2.
- Tan pronto como la gotita de aceite nuevamente se encuentre al lado de la primera división de la escala detenga la medición del tiempo con el interruptor t.
- Transfiera hacia la tabla los valores medidos del tiempo de descenso t_1, el tiempo de ascenso t_2 y la tensión U con . La carga q calculada ingresará automáticamente al histograma.
- Repita la medición para otras gotitas de aceite.

Evaluación

Para la evaluación existe la posibilidad de insertar en la distribución de frecuencia medida el valor medio y verificar la relación $q = n \cdot e$ (con $e = 1{,}6022 \cdot 10^{-19}$ C).

Notas

Si se selecciona gotitas de aceite con carga reducida, la estadística conlleva rápidamente a un resultado consistente. Las gotitas de aceite de carga reducida pueden ser reconocidas por su tamaño; éstas son pequeñas y se mueven relativamente lentas en el campo eléctrico.

Si en la clase no hay tiempo suficiente para seguir unas 20 a 30 gotitas de aceite, entonces antes de la medición uno puede cargar el ejemplo con los valores medidos en lugar de puros ajustes. Los nuevos valores medidos aparecen en el histograma como barras rojas y confirman de esta manera, con la imprecisión estadística habitual, la medición del ejemplo registradas en negro.

Para la medición de las cargas q negativas se debe intercambiar las conexiones, tanto en el condensador de placas como en la entrada B de CASSY.

Si la presión atmosférica local es bastante diferente de 1013 hPa, entonces se recomienda modificar la presión atmosférica en la fórmula referida al Parámetro de corrección A respectivo. Es claro que después de ello los valores del ejemplo mostrados ya no serán coherentes con la medición.